

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-206118

(43)Date of publication of application : 22.07.2003

(51)Int.Cl.

C01B 31/02
H01J 1/304

(21)Application number : 2002-040793

(71)Applicant : FUTABA CORP

(22)Date of filing : 11.01.2002

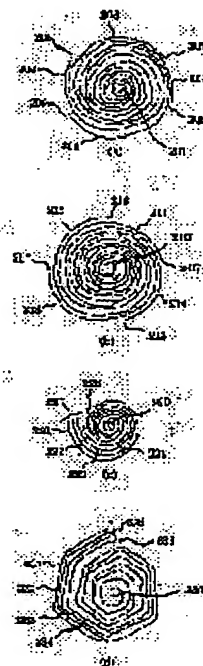
(72)Inventor : TSUBOI TOSHIYUKI

(54) NANO-CARBON MATERIAL AND ELECTRON EMISSION SOURCE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a nano-carbon material having high activity.

SOLUTION: The linear nano-carbon material has a plurality of graphene layers 202-205 wound in piles in such a way that a plurality of dead ends 206-209 having activity are exposed at the outermost periphery.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2003-206118
(P2003-206118A)

(43) 公開日 平成15年7月22日 (2003.7.22)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード(参考)
C 0 1 B 31/02	1 0 1	C 0 1 B 31/02	1 0 1 F 4 G 0 4 6
H 0 1 J 1/304		H 0 1 J 1/30	F

審査請求 未請求 請求項の数 7 書面 (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2002-40793(P2002-40793)

(22) 出願日 平成14年1月11日 (2002.1.11)

(71) 出願人 000201814

双葉電子工業株式会社

千葉県茂原市大芝629

(72) 発明者 坪井 利行

千葉県茂原市大芝629 双葉電子工業株式
会社内

(74) 代理人 100099726

弁理士 大塚 秀一

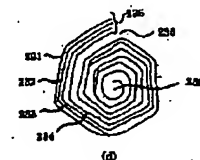
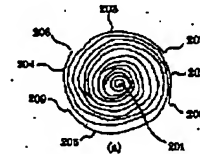
Fターム(参考) 4G046 CA00 CC06 CC09

(54) 【発明の名称】 ナノ炭素物質及び電子放出源

(57) 【要約】

【課題】 活性の大きいナノ炭素物質を提供すること。

【解決手段】 線状のナノ炭素物質は、重ねて巻回された複数のグラフェン層202~205を有し、活性を有する複数の終端部206~209が最外周部に露出している。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 重ねて巻回された複数のグラフェン層を有し、少なくとも 2 つの前記グラフェン層の終端部が最外周部に露出して成ることを特徴とするナノ炭素物質。

【請求項 2】 前記各グラフェン層は渦巻き状に巻回されていることを特徴とする請求項 1 記載のナノ炭素物質。

【請求項 3】 前記各グラフェン層は多角形状に巻回されていることを特徴とする請求項 1 記載のナノ炭素物質。

【請求項 4】 前記最外周部に露出した終端部は、前記最外周部において相互に異なる場所に位置することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載のナノ炭素物質。

【請求項 5】 前記最外周部に露出した終端部は、前記最外周部において等間隔に位置することを特徴とする請求項 4 記載のナノ炭素物質。

【請求項 6】 前記最外周部に露出した終端部は、前記最外周部において同一場所に位置することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載のナノ炭素物質。

【請求項 7】 カソード導体とゲート電極間にエミッタを配設し、前記カソード導体とゲート電極間に電圧を印加することにより前記エミッタから電子を放出する電子放出源において、前記エミッタは、請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載のナノ炭素物質を有することを特徴とする電子放出源。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、炭素によって構成され直径がナノメートル (nm) オーダの大きさの構造 (ナノ構造) を有し、線状あるいは粒状に構成された炭素物質 (ナノ炭素物質) に関する。また、本発明は、電界の作用によって電子を放出する電子放出源に関する。

【0002】

【従来の技術】従来から、直径がナノオーダで線状に構成されたナノ炭素物質としてカーボンナノチューブやナノグラファイバ等が知られ又、直径がナノオーダで粒状のナノ炭素物質としてナノパーティクル等が知られている。これらのナノ炭素物質は、ゴムやプラスチック等の高分子材料の強度を向上するための用途として、又、電子放出源への応用等、種々の用途への応用が研究されている。

【0003】カーボンナノチューブには、多層カーボンナノチューブ (MWNT) と単層カーボンナノチューブ (SWNT) があることが知られている。多層カーボンナノチューブは、断面が同心円状に配設された複数の炭素層によって構成された多層構造となっている。一方、単層カーボンナノチューブは、断面が円形の単層の炭素層によって構成された単層構造となっている。また、断面が渦巻き状に巻回された単層の炭素層によって構成さ

れた単層渦巻き構造のナノ炭素物質があることが知られている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】多層カーボンナノチューブは、複数のカーボン層が円筒状に閉じた構成であるため、化学的活性が乏しいという性質を有しており、したがって、ゴムやプラスチック等の高分子材料に混入した場合、高分子材料と一体化し難く、高分子材料の強度を向上させることは困難である。

10 【0005】また、多層カーボンナノチューブは、針状結晶と称されるように構造が直線的で硬く、また、隣接する炭素層間の相互作用が強くて層間スライドが起こり難いため、硬くて折れて曲がるという性質を有している。したがって、この点からも、高分子材料と一体化し難く、高分子材料の強度を向上させることは困難である。尚、多層カーボンナノチューブは、複数の炭素層が同心円構造に形成されているため、面内導電性に乏しいという性質を有している。

20 【0006】また、単層カーボンナノチューブは、単一の炭素層が断面円形状に閉じた構成となっているため、活性が乏しいという性質を有している。また、単層カーボンナノチューブは、同心円状の単一の炭素層によって形成されているため構造が曲線的で柔らかいという性質を有しているが、その反面、単一の炭素層によって形成されているため強度が弱いという性質を有している。したがって、ゴムやプラスチック等の高分子材料に混入した場合、高分子材料の強度を向上させることは困難である。また、単層渦巻き構造のナノ炭素物質は、炭素層の終端部が一つしか最外周部に露出していないため、活性が小さいという性質を有している。したがって、ゴムやプラスチック等の高分子材料に混入した場合、高分子材料の強度を向上させることは不十分である。

30 【0007】一方、カーボンナノチューブは電子放出源への応用が研究されているが、より低い電圧で駆動可能で、電子放出特性に優れた電子放出源が望まれている。また、従来のナノパーティクルについても、炭素層が閉じた構造になっているため、活性が乏しく、ゴムやプラスチック等の高分子材料に混入した場合、高分子材料の強度を向上させることは困難である。

40 【0008】本発明は、自由度が大きく活性の大きいナノ炭素物質を提供することを課題としている。また、本発明は、高分子材料の強度を大きくすることが可能なナノ炭素物質を提供することを課題としている。また、本発明は、低電圧駆動が可能で、電子放出特性に優れた電子放出源を提供することを課題としている。

【0009】

50 【課題を解決するための手段】本発明によれば、重ねて巻回された複数のグラフェン層を有し、少なくとも 2 つの前記グラフェン層の終端部が最外周部に露出して成ることを特徴とするナノ炭素物質が提供される。活性を有

する少なくとも2つの終端部が最外周部に露出している。

【0010】ここで、前記各グラフェン層は渦巻き状に巻回されているように構成してもよい。また、前記各グラフェン層は多角形状に巻回されているように構成してもよい。また、前記最外周部に露出した終端部は、前記最外周部において相互に異なる場所に位置するように構成してもよい。また、前記最外周部に露出した終端部は、前記最外周部において等間隔に位置するように構成してもよい。また、前記最外周部に露出した終端部は、前記最外周部において同一場所に位置するように構成してもよい。

【0011】また、本発明によれば、カソード導体とゲート電極間にエミッタを配設し、前記カソード導体とゲート電極間に電圧を印加することにより前記エミッタから電子を放出する電子放出源において、前記エミッタは、請求項1乃至6のいずれかに記載のナノ炭素物質を有することを特徴とする電子放出源が提供される。カソード導体とゲート電極間に電圧を印加することにより、ナノ炭素物質から電子が放出される。

【0012】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の実施の形態に係るナノ炭素物質の製造に使用する製造装置の概略図であり、アーク放電法によって前記ナノ炭素物質を製造する装置の例を示している。図1において、1は炭素電極、2は冷却管、3は煤回収用フィルタ、4は直流電力及び交流電力のいずれも出力可能な放電用電源装置、5は放電用電源装置4の出力波形を観察するためのデジタルオシロスコープ、6はロータリーポンプ、7は真空バルブ、8はのぞき窓、9はガス導入口、10は気密用オーリング、11は位置制御装置、12は電磁弁、13はチャンバである。

【0013】チャンバ13内には、1対の炭素電極1、1が対向して配設され、各炭素電極1、1は一方が陽極、他方が陰極として機能し、1対の位置制御装置11、11によって、所定の一定距離に保たれるように移動制御される。チャンバ13内は所定のガスで一定圧力に維持される。チャンバ13内を所定のガスで所定の一定圧力にする方法としては、チャンバ13内を所定圧力のガスで満たした状態で前記ガスの供給を停止し、チャンバ13を閉じた状態にして前記状態を維持するクローズドシステムと、チャンバ13内に常時ガスを供給すると共に排気を行うことによってチャンバ13内を所定のガス圧に維持するオープンシステムがあり、いずれのシステムも使用可能である。

【0014】クローズドシステムの場合には、まずロータリーポンプ6でチャンバ13内を真空にし、破線矢印で示すようにガス導入口9からチャンバ13内にガスを供給して一定の圧力にした後、真空バルブ7を閉じてチャンバ13内をガスで所定の圧力に維持する。また、オ

ープンシステムの場合には、まずロータリーポンプ6でチャンバ13内を真空にし、破線矢印で示すようにガス導入口9からチャンバ13内にガスを供給すると共に、ロータリーポンプ6でガスを排気することによって、チャンバ13内をガスで所定の圧力に維持する。

【0015】本実施の形態に係るナノ炭素物質を製造する場合、過剰熱の発生を極力抑え、陽極の炭素電極1がかるうじて蒸発するような条件で製造する。雰囲気ガスとして酸素等を用いて30~50 Torrの低圧雰囲気とし、100~120 A/cm²の低電流放電を行うことが好ましい。この条件では、ナノ炭素物質が断面円形状に閉じにくいいため、複数のグラフェン層が中心部を中心として巻回されると共に前記グラフェン層中の少なくとも2つの終端部が開いた構造のナノ炭素物質を生成することができる。尚、陽極炭素材料としては、放電時に、未分解のナノサイズグラファイト小片が生じるような材料が好ましい。

【0016】以下、前記製造装置を用いて、本実施の形態に係るナノ炭素物質を製造する方法について説明する。本実施の形態に係るナノ炭素物質を製造する場合、まず、クローズドシステム又はオープンシステムにより、ガス導入口9から供給する所定のガスによってチャンバ13内を所定の圧力に維持する。ガスとしてはあらゆる種類のガスが使用可能であるが、特に、酸素、一酸化炭素、二酸化炭素、窒素が好ましい。また、ガスの圧力としては、5~50 Torrの範囲が使用可能であるが、30~50 Torrの圧力が特に好ましい。

【0017】この状態で、1対の位置制御装置11、11によって1対の炭素電極1、1を所定の一定距離に維持しながら、放電用電源装置4から直流電流を流すことによってアーク放電を生じさせる。放電電流としては、前述したように直流100 A/cm²~120 A/cm²の範囲の電流が適している。尚、アーク放電を生じさせる方式として、交流アーク放電方式、パルスを供給するパルスアーク放電方式等も使用できる。

【0018】前記アーク放電により、陽極の炭素電極1がかるうじて蒸発するように加熱させて、前記陽極を構成する炭素物質を蒸発させる。陰極に生成する陰極堆積物には、生成した多量のナノ炭素物質が含まれている。尚、アーク放電によって生成した煤は、フィルタ3で回収する。ガスの供給方法としては、前述したようにクローズドシステムとオープンシステムのいずれの方法も使用することができるが、前記ガスとして酸素を用いたオープンシステムの場合、炭素電極1、1が燃焼し、炭素電極1、1の径が縮小して電流密度が大きくなるため、製造条件の適正な制御が困難になる場合がある。

【0019】したがって、炭素電極1、1近傍にガス導入用のノズル（図示せず）を設け、前記ノズルから酸素を直接炭素電極1、1に吹き付けると共に、ロータリーポンプ6で酸素を排気することにより、チャンバ13内を

酸素で所定の圧力に維持するようにする。これにより、炭素電極 1、1 の燃焼が抑制され、適正な条件で容易にナノ炭素物質を製造することが可能になる。前記製造方法によって製造した陰極堆積物中には、図 2 に示すような断面構造のナノ炭素物質が含まれている。

【0020】図 2 (a) は本発明の第 1 の実施の形態に係るナノ炭素物質の断面図で、全体が線状に構成されると共に、重ねて巻回された複数のグラフェン層を有し、少なくとも 2 つの前記グラフェン層の末端部が最外周部に露出した構造のナノ炭素物質を示している。即ち、図 2 (a) において、線状に構成されたナノ炭素物質は、単層の炭素層によって構成された渦巻き構造の中心部 201、中心部 201 を中心として渦巻き状に巻かれた複数 (図 2 (a) では 4 層) のグラフェン層 202 ~ 205 を有する構造となっている。渦巻き状のグラフェン層 202 ~ 205 の末端部の中の少なくとも 2 つ (本第 1 の実施の形態では全て) の末端部 206 ~ 209 は、最外周部に露出する構造となっている。

【0021】また、各グラフェン層 202 ~ 205 の末端部 206 ~ 209 は、最外周部において相互に異なる場所に位置する構造となっており、図 2 (a) では等間隔に位置する構造となっている。各グラフェン層 202 ~ 205 は、中心部 201 及び渦巻き状グラフェン層 202 ~ 205 のいずれかから枝分かれした構造となっている。末端部 206 ~ 209 は化学的な活性を有する部分であり、最外周部において露出した複数の末端部 206 ~ 209 を有するため、活性が大きいという特性を有している。また、複数の末端部 206 ~ 209 は最外周部において等間隔に位置しているため、活性が均一になるという特性を有している。

【0022】図 2 (b) は本発明の第 2 の実施の形態に係るナノ炭素物質の断面図で、全体が線状に構成されると共に、重ねて巻回された複数のグラフェン層を有し、少なくとも 2 つの前記グラフェン層の末端部が最外周部に露出した構造のナノ炭素物質を示している。即ち、図 2 (b) において、線状に構成されたナノ炭素物質は、単層の炭素層又は多層の炭素層によって構成された円筒構造の中心部 210、中心部 210 を中心として渦巻き状に巻かれた複数 (図 2 (b) では 4 層) のグラフェン層 211 ~ 214 を有する構造となっている。渦巻き状のグラフェン層 211 ~ 214 の末端部の中の少なくとも 2 つ (本第 2 の実施の形態では全て) の末端部 215 ~ 218 は、最外周部に露出する構造となっている。

【0023】また、各グラフェン層 211 ~ 214 の末端部 215 ~ 218 は、最外周部において相互に異なる場所に位置する構造となっており、図 2 (b) では等間隔に位置する構造となっている。各グラフェン層 211 ~ 214 は、中心部 210 及び渦巻き状グラフェン層 211 ~ 214 のいずれかから枝分かれした構造となっている。末端部 215 ~ 218 は化学的な活性を有する部

分であり、最外周部において露出した複数の末端部 215 ~ 218 を有するため、活性が大きいという特性を有している。また、複数の末端部 215 ~ 218 は最外周部において等間隔に位置しているため、活性が均一になるという特性を有している。

【0024】図 2 (c) は本発明の第 3 の実施の形態に係るナノ炭素物質の断面図で、全体が線状に構成されると共に、重ねて巻回された複数のグラフェン層を有し、少なくとも 2 つの前記グラフェン層の末端部が最外周部に露出した構造のナノ炭素物質を示している。また、露出した前記グラフェン層の末端部が最外周部において同一場所に整列した構造のナノ炭素物質を示している。

【0025】図 2 (c) において、線状に構成されたナノ炭素物質は、単層の炭素層によって構成された渦巻き構造の中心部 220 (若しくは、単層の炭素層又は多層の炭素層によって構成された円筒構造の中心部 220)、中心部 220 を中心として渦巻き状に巻回された複数 (本第 3 の実施の形態では 4 層) のグラフェン層 221 ~ 224 を有する構造となっている。各渦巻き状のグラフェン層 221 ~ 224 の末端部 225 の中の少なくとも 2 つ (本第 3 の実施の形態では全て) は、最外周部に露出する構造となっている。

【0026】また、露出したグラフェン層 221 ~ 224 の各末端部 225 は、最外周部において同一場所に整列した構造となっている。グラフェン層 221 ~ 224 の各末端部 225 は、相互結合力が強いいため、相互に位置ずれることなく同一場所に整列している。各末端部 225 と本体部分との間の間隙 226 は大きいため、水素の貯蔵等に適している。また、化学的な活性を有する複数の末端部 225 が同一位置に集中しているため、特定部位に、より大きな活性が得られるという特性を有している。

【0027】図 2 (d) は本発明の第 4 の実施の形態に係るナノ炭素物質の断面図で、全体が粒状に構成されると共に、重ねて巻回された複数のグラフェン層を有し、少なくとも 2 つの前記グラフェン層の末端部が最外周部に露出した構造のナノパーティクルの例を示している。露出した前記グラフェン層の末端部は、前記第 3 の実施の形態と同様に、最外周部において同一場所に整列した構造となっている。

【0028】図 2 (d) において、本第 4 の実施の形態に係るナノパーティクルは、単層の炭素によって構成された渦巻き構造の中心部 230 (若しくは、単層の炭素層又は多層の炭素層によって構成された円筒構造又は円筒構造の中心部 230)、中心部 230 を中心として、重ねて多角形状 (図 2 (d) では六角形状) に巻回された複数 (本第 4 の実施の形態では 4 層) のグラフェン層 231 ~ 234 を有する構造となっている。多角形状の各グラフェン層 231 ~ 234 の末端部 235 の中の少なくとも 2 つ (本第 4 の実施の形態では全て) は、最外周

部に露出する構造となっている。

【0029】また、露出したグラフェン層 231~234 の各終端部 235 は、最外周部において同一場所に整列した構造となっている。グラフェン層 231~234 の各終端部 235 は、相互結合力が強いため、相互に位置ずれすることなく同一場所に整列している。各終端部 235 と本体部分間の間隙 236 は大きいので、水素の貯蔵等に適している。また、活性を有する複数の終端部 235 が同一場所に集中しているため、特定部位において、より大きな活性が得られるという特性を有している。尚、図 2 (b) 乃至図 2 (d) で中心部に円筒構造等を有する場合、更にその内側に重ねて巻回された複数のグラフェン層又は重ねずに巻回された単層のグラフェン層若しくはそれらと単層又は多層のグラフェン層によって構成された円筒構造の組み合わせ等を、少なくとも一つ含んでいてもよい。

【0030】以上のように、本発明に実施の形態に係るナノ炭素物質は、炭素によって構成され直径がナノメートル (nm) オーダの大きさの構造 (ナノ構造) を有し、線状あるいは粒状に構成された炭素物質 (ナノ炭素物質) において、少なくともその外周部には重ねて巻回された複数のグラフェン層を有し、少なくとも 2 つの前記グラフェン層の終端部が最外周部に露出して成ることを特徴としている。

【0031】したがって、最外層に化学的に活性な終端部を複数有しているため、化学的に活性である。例えば、前記各炭素物質をすり鉢にて粉碎すれば粘性を持ち又、それを 125 μm のふるいにかけた後に瓶に詰めて振れば、直ちに凝集して大きな塊になる。これらの特徴は、化学的に活性であることを示している。また、前記最外周部に露出した各終端部は、前記最外周部において等間隔に位置することを特徴としている。したがって、活性が均一になるという特性を有している。尚、ここで、「等間隔」には、略等間隔も含まれる。

【0032】また、前記最外周部に露出した各終端部は、前記最外周部において同一場所に位置することを特徴としている。化学的な活性を有する複数の終端部が同一場所に集中しているため、特定部位に、より大きな活性が得られるという特性を有している。尚、ここで、「同一場所」には、略同一場所も含まれる。

【0033】従来、カーボンナノチューブの応用例に、超高強度材料への応用が知られているが、閉じた構造をもつカーボンナノチューブでは、表面が滑らかであるので、母体とのなじみ (濡れ性) に劣り、抜け落ちやすく母体自体が割れやすくなるという欠点がある。しかしながら、本実施の形態に係るナノ炭素物質は、化学的に活性な表面を持つために、濡れ性が良く、母体となじみやすい。また、内径が小さいので、中まで詰まっている。さらに、柔軟性を持っているので、母材の変形にあわせて変形し易い。したがって、母体の強度を増すことがで

きる。また、前記炭素物質は柔軟性を持っているので、母体の弾力性を向上させる効果も期待できる。よって、多層のグラフェン層を巻回した構造の炭素物質を樹脂やゴム等の高分子材料に添加した製品は、寿命、弾力性、導電性において優れることが予想される。

【0034】タイヤにはカーボンブラックが相当量使用されているが、その一部あるいは全部を前記ナノ炭素物質に置き換えることにより、粘性向上によるロードグリップの向上、磨耗損失の抑制等の特性向上が期待できる。特に、自動車レースで 사용되는場合において、従来のタイヤに比べて高速走行が可能になるばかりでなく、タイヤの交換回数を減少させることもでき、有利なレース展開が可能になる。

【0035】また、卓球用ラケットのラバーに使用することにより、弾力性が向上するので、早い球を打ち返せる。さらに、スピンのかけやすくなり、大きな変化をボールに加えやすくなる。また、化学的に活性であるということは、化学修飾し易く、バイオテクノロジーやナノマシン等への応用に有利である。

【0036】尚、前記実施の形態では、線状のナノ炭素物質は断面が渦巻き状に巻回されたものの例をあげたが、断面が多角形状に巻回されたナノ炭素物質も前記同様の製造方法によって得られる。また、ナノパーティクルについては断面が多角形状に巻回されたものの例をあげたが、断面が渦巻き状に巻回されたナノ炭素物質も前記同様の製造方法によって得られる。

【0037】また、複数の終端部からは化学修飾により電子放出を容易に行うことが可能である。したがって、カソード導体とゲート電極間にエミッタを配設し、前記カソード導体とゲート電極間に電圧を印加することにより前記エミッタから電子を放出する電子放出源において、前記エミッタは、前記実施の形態に係るナノ炭素物質を有するように構成することができる。これにより、前記カソード導体とゲート電極間に電圧を印加することにより、低電圧駆動で、前記ナノ炭素物質から電子を放出させることができる。

【0038】

【実施例】次に、本発明のナノ炭素物質の実施例について説明する。第 1 の実施例は、図 1 に示した装置を用いて、ガスとして酸素を使用したクローズドシステムによって製造したナノ炭素物質の例である。直径 13 mm 長さ 75 mm の純粋炭素電極 1、1 を対向させ、真空引きを行い、チャンバ 13 内に 30~40 Torr の酸素を充填させ、直流電流 190 A、直流電圧 20 V、放電間距離 1~3 mm でアーク放電させた。生じた陰極堆積物のコア部分を取り出すと針状の塊が見られ、これをエポキシ樹脂で固めて輪切りにし、TEM (透過電子顕微鏡) 観察を行った。

【0039】図 3 は、このようにして得られた線状のナノ炭素物質の断面を示す TEM 写真であり、図 2 (a)

に示した炭素物質に対応する炭素物質のTEM写真である。図3に示すように、全体的に断面楕円形が多層渦巻き状構造が確認できる。グラフェン層の最内層（中心部）は一層、外側に行くにつれて枝分かれし、層数が増え多層渦巻き構造となる。各グラフェン層の終端部は、各層毎に異なる場所に位置し、活性な終端部が等間隔に分散した構造となっている。図4は、前記の如くして得られた線状のナノ炭素物質の先端部分を示すTEM写真である。図4に示すように、ナノ炭素物質には炭素物質の薄片が付着しており、活性であることを示している。

【0040】第2の実施例は、前記第1の実施例と同一の条件で製造したナノパーティクルの例である。図5は、該ナノパーティクルの断面を示すTEM写真であり、図2（d）に対応するナノ炭素物質のTEM写真である。図5に示すように、全体的に断面多角形状の多層渦巻き構造が確認できる。外側に行くほど層数は増し、最内層（中心部）が2層、最外層が13層程度、最外層では複数の終端部が同一場所に位置している。比較的大きな隙間が確認でき、水素貯蔵等の応用が考えられる。

【0041】図6は、前記第1の実施例に係るナノ炭素物質をエミッタとして使用した電界電子放出源の電圧－電流密度特性を示す図である。図6において、曲線601は前記第1の実施例に係るナノ炭素物質を使用した電子放出源の特性を示しており、一方、曲線602、603は従来の多層カーボンナノチューブをエミッタとして使用した電子放出源の特性を示している。図6に示すように、前記第1の実施例に係るナノ炭素物質を使用した電子放出源は、従来の多層カーボンナノチューブをエミッタとして使用した電子放出源に比べて、低電圧での駆動が可能であり、良好な電子放出特性が得られる。

【0042】

【発明の効果】本発明によれば、活性の大きいナノ炭素物質を提供することが可能である。また、本発明によれば、高分子材料の強度を大きくすることが可能なナノ炭素物質を提供することが可能である。また、本発明によ

れば、低電圧駆動が可能で、電子放出特性に優れた電子放出源を提供することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態に係るナノ炭素物質を製造するための製造装置の概略図である。

【図2】 本発明の実施の形態に係るナノ炭素物質を示す図である。

【図3】 本発明の実施の形態に係るナノ炭素物質のTEM写真である。

【図4】 本発明の実施の形態に係るナノ炭素物質のTEM写真である。

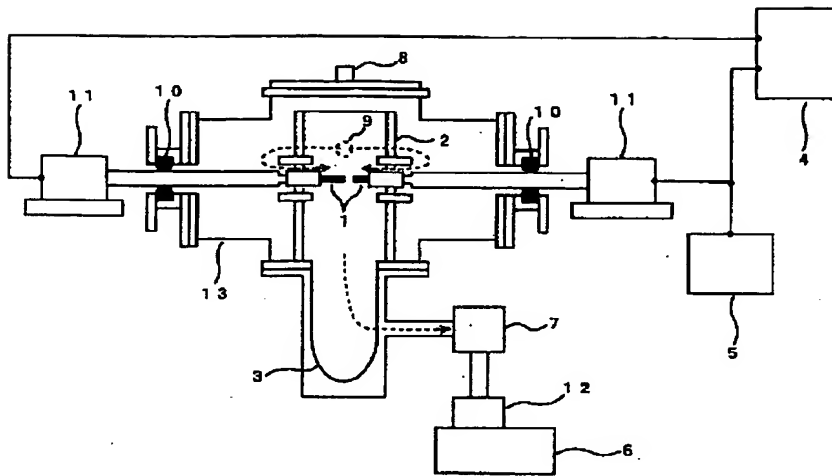
【図5】 本発明の実施の形態に係るナノ炭素物質のTEM写真である。

【図6】 本発明の実施の形態に係る電子放出源の特性図である。

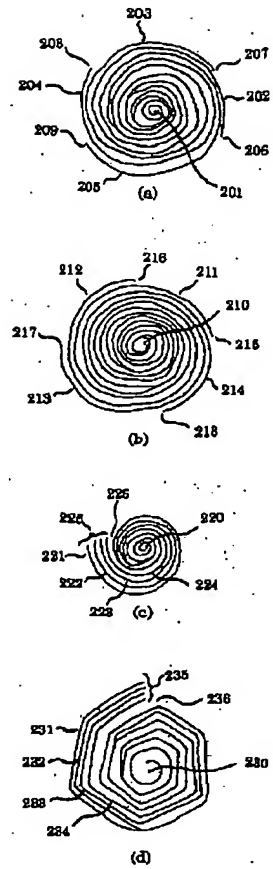
【符号の説明】

- 1・・・炭素電極
- 2・・・冷却管
- 3・・・煤回収用フィルタ
- 4・・・放電用電源
- 5・・・デジタルオシロスコープ
- 6・・・ロータリーポンプ
- 7・・・真空バルブ
- 8・・・のぞき窓
- 9・・・ガス導入口
- 10・・・気密用オーリング
- 11・・・位置制御装置
- 12・・・電磁弁
- 13・・・チャンバ
- 201、210、220、230・・・中心部
- 202～205、211～214、221～224、231～234・・・グラフェン層
- 206～209、215～218、225、235・・・終端部
- 226、236・・・間隙

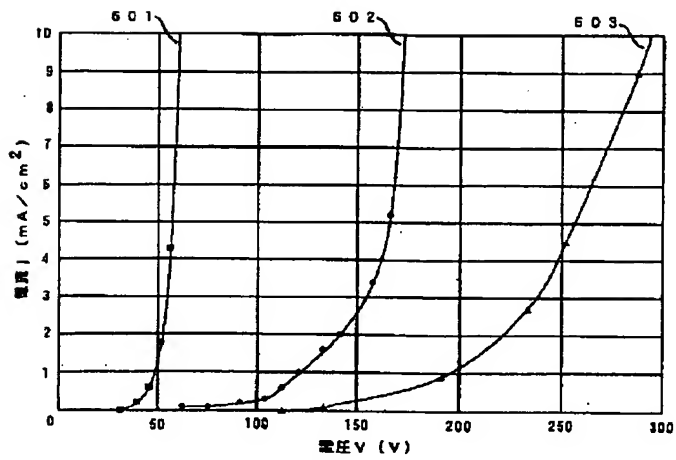
【図 1】



【図 2】

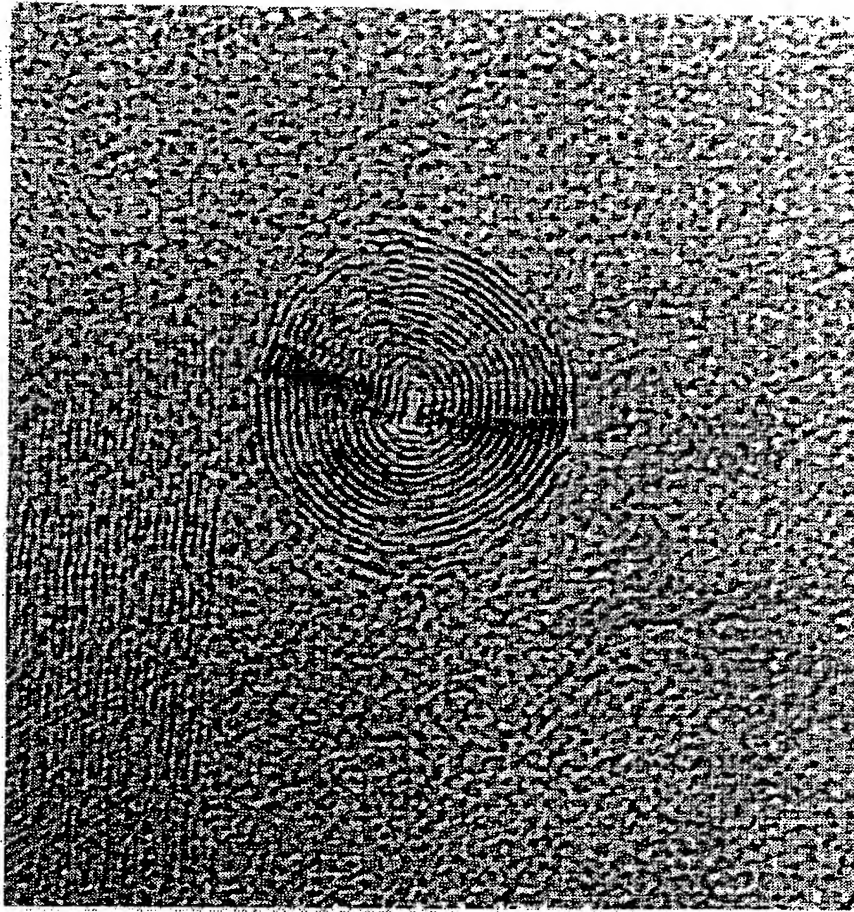


【図 6】



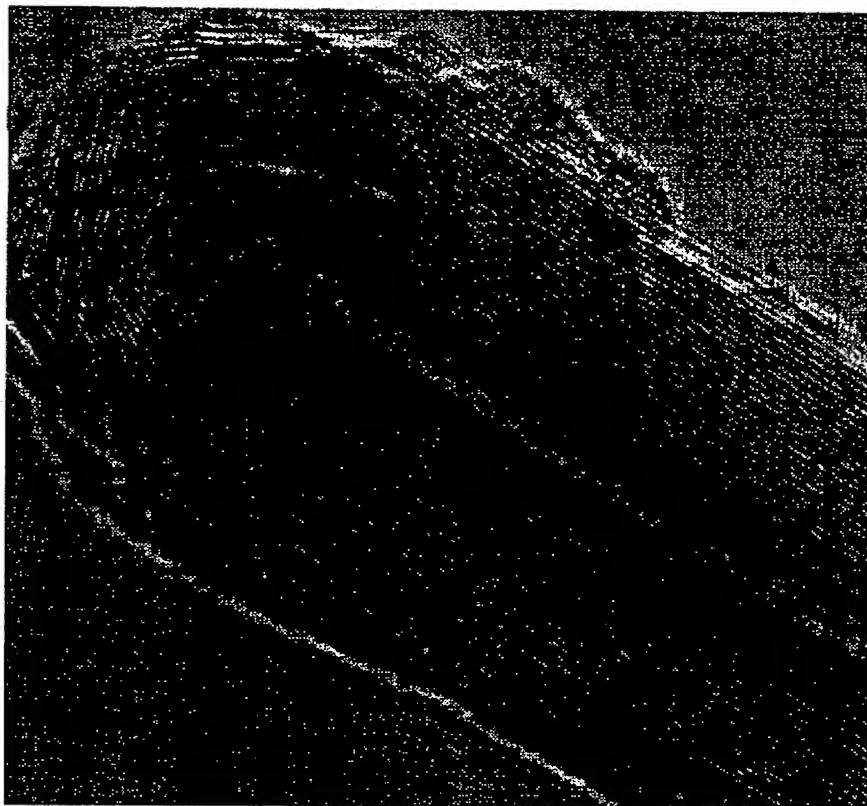
【図3】

図面代用写真



———— 5 n m

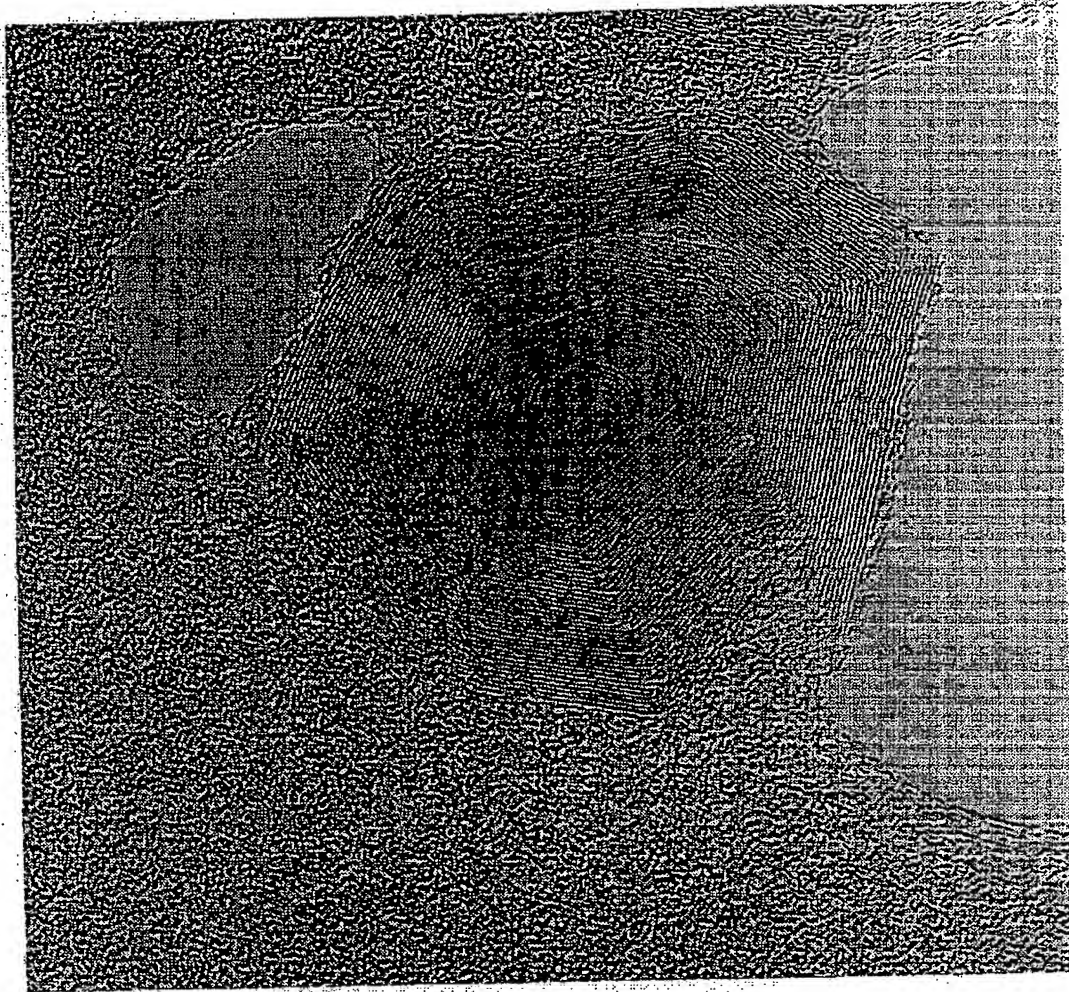
【図 4】



———— 10 nm

【図5】

図面代用写真



10 nm